

УДК 629.4.01

DOI: 10.24160/1993-6982-2022-4-32-39

Разработка геотермального оборудования и сооружение Верхне-Мутновской и Мутновской геотермальных станций

Г.В. Томаров

Современные геотермальные энергосистемы достигли значительной коммерческой зрелости и успешно конкурируют с другими способами получения энергии. Геотермальная энергетика обладает рядом преимуществ: низкой себестоимостью электроэнергии, независимостью от климатических условий и высокой экологичностью. Коэффициент использования установленной мощности геотермальных электростанций (ГеоЭС) существенно превышает этот показатель для энерготехнологий, использующих другие ВИЭ. В России имеются предпосылки для эффективного применения геотермальной энергетике в энергообеспечении удаленных и изолированных регионов, располагающих огромными запасами геотермальных ресурсов. Обобщен и проанализирован опыт разработки отечественного геотермального оборудования и сооружения современных геотермальных электростанций: Верхне-Мутновской и Мутновской. Рассмотрены особенности геотермального теплоносителя, влияющие на конструктивные и технологические решения при создании ГеоЭС. Описаны принципы создания блочно-модульной Верхне-Мутновской ГеоЭС, отмечены преимущества и высокая эффективность установки подготовки пара для обеспечения надежной работы турбоустановок Верхне-Мутновской и Мутновской ГеоЭС. Приведены конструктивные особенности проточной части турбин Мутновской ГеоЭС мощностью 25 МВт и Верхне-Мутновской ГеоЭС мощностью 4 МВт. Представлены характеристики уникальных воздушных конденсаторов для Верхне-Мутновской ГеоЭС и конденсаторов смешивающего типа для Мутновской ГеоЭС. Определены направления развития Верхне-Мутновской и Мутновской ГеоЭС.

Ключевые слова: геотермальный теплоноситель и электростанция, энергоблок, турбина, сепаратор, конденсатор.

Для цитирования: Томаров Г.В. Разработка геотермального оборудования и сооружение Верхне-Мутновской и Мутновской геотермальных станций // Вестник МЭИ. 2022. № 4. С. 32—39. DOI: 10.24160/1993-6982-2022-4-32-39.

Development of Geothermal Equipment for and Construction of the Verkhne-Mutnovsk and Mutnovsk Geothermal Power Plants

G.V. Tomarov

Modern geothermal power generation systems have reached considerable commercial maturity and are successfully competing with other energy generation methods. Geothermal energy has a number of advantages: low cost of electricity, independence from climatic conditions, and high environmental friendliness. The geothermal power plant (GeoPP) capacity factor is well above the levels of this indicator for energy technologies that use other renewable energy sources. In Russia, there are prerequisites for effective use of geothermal energy for supplying power to remote and isolated regions that have huge reserves of geothermal resources. The article summarizes and analyzes the experience gained from development of domestic geothermal equipment and construction of modern geothermal power plants: the Verkhne-Mutnovsk GeoPP and Mutnovsk GeoPP. The geothermal fluid features influencing the design and process solutions applied in developing a GeoPP are considered. The principles of designing the block-modular Verkhne-Mutnovsk GeoPP are described, and the advantages and high efficiency of the steam treatment plant for ensuring reliable operation of the Verkhne-Mutnovsk GeoPP and Mutnovsk GeoPP turbine units are noted. The design features of the turbine flow paths at the Mutnovsk GeoPP with a capacity of 25 MW and Verkhne-Mutnovsk GeoPP with a capacity of 4 MW are given. The characteristics of unique air-cooled condensers for the Verkhne-Mutnovsk GeoPP and direct-contact condensers for the Mutnovsk GeoPP are presented. The further development lines of the Verkhne-Mutnovsk and Mutnovsk GeoPPs have been determined.

Key words: geothermal fluid, geothermal power plant, power unit, turbine, separator, condenser.

For citation: Tomarov G.V. Development of Geothermal Equipment for and Construction of the Verkhne-Mutnovsk and Mutnovsk Geothermal Power Plants. Bulletin of MPEI. 2022;4:32—39. (in Russian). DOI: 10.24160/1993-6982-2022-4-32-39.

Введение

В 2019 г. отмечалось 65-летие российской геотермальной энергетике. Президиум Академии наук СССР 15 марта 1954 г. принял решение создать в Петропавловске-Камчатском лабораторию по исследованию геотермальных ресурсов. В 1965 г. советские ученые С.С. Кутателадзе и А.М. Розенфельд из института теплофизики СО РАН получили патент на технологию генера-

ции электроэнергии из горячей воды с температурой более 80 °С. В 1967 г. она была апробирована пуском первой в мире Паратунской геотермальной электростанцией (ГеоЭС) с бинарным циклом мощностью 600 кВт. В 1968 г. сооружена первая российская Паужетская ГеоЭС, эксплуатирующаяся до сих пор. В середине 1990-х гг. прошлого столетия началось возрождение и активное развитие отечественной геотермальной энергетике, ознаменовавшееся разработкой и

созданием на Камчатке и Курильских островах серии геотермальных энергоблоков мощностью от 0,5 до 25 МВт.

На территории Российской Федерации пробурено более 4000 геотермальных скважин на 66-и месторождениях. Наиболее значительные высокопотенциальные ресурсы расположены в Дальневосточном и Северо-Кавказском регионах. К настоящему времени построены геотермальные энергоблоки на Камчатке: с 1967 г. эксплуатируется Паужетская ГеоЭС установленной мощностью 14,5 (6 + 6 + 2,5) МВт; с 1999 г. — Верхне-Мутновская ГеоЭС 12,0 (3×4,0) МВт; с 2002 г. — Мутновская ГеоЭС 50,0 (2×25,0) МВт. На Курильских островах: с 2001 г. на о. Кунашир работает Менделеевская ГеоЭС 3,4 (2×1,7) МВт; с 2006 г. на о. Итуруп — Океанская ГеоЭС 3,4 (2×1,7) МВт.

Верхне-Мутновская геотермальная электростанция

Верхне-Мутновская ГеоЭС — пилотный проект в освоении Мутновского геотермального месторождения, в рамках которого построена ЛЭП для выдачи произведенной электроэнергии в сети Камчатскэнерго.

Верхне-Мутновская опытно-промышленная геотермальная электростанция установленной мощностью 12 (3×4) МВт расположена на отметке 780 метров от уровня моря в 70 км южнее г. Петропавловска-Камчатского. Данный район характеризуется суровым климатом с продолжительной зимой со значительным снежным покровом (средняя толщина 7...8 м), сильными ветрами (50 м/с). Зона расположения ГеоЭС относится к девятибальной зоне сейсмоопасности по шкале MSK-64.

С учетом короткого строительного сезона было принято решение создать станцию по модульному принципу, заключающемуся в том, что модули высо-

кой заводской готовности, выполненные в габаритах железнодорожных вагонов, собирали на строительной площадке. По проекту в составе станции 14 модулей вагонного типа, соединенных между собой закрытыми межмодульными переходами.

Летом 1996 г. подготовлены первые фундаменты, пуско-наладочные работы на ГеоЭС начались в октябре 1998 г., а в 1999 г. была введена в опытно-промышленную эксплуатацию Верхне-Мутновская ГеоЭС (рис. 1) [1, 2]. В ее состав вошли три конденсационные турбины типа «Туман-4К» мощностью по 4 МВт каждая и комплекс модулей общестанционных систем.

Принципиальная тепловая схема энергоблока Верхне-Мутновской ГеоЭС изображена на рис. 2. В качестве теплоносителя взята пароводяная смесь от трех продуктивных геотермальных скважин. Геотермальный теплоноситель подают через трубопроводы к установке подготовки пара, где он проходит двухступенчатую сепарацию в сепараторах гравитационного типа. Пар поступает в главный паропровод турбины после сепараторов второй ступени с расходом 96 т/ч, а сепарат в количестве до 270 т/ч закачивают в две реинжекционные скважины. Давление пара на входе в турбину составляет 0,8 МПа (при температуре около 170 °С). Степень влажности пара — не выше 0,05%, что обеспечивает низкое содержание солей в паре турбины.

Отработавший в турбинах пар направляется в воздухо-конденсационную установку, а затем, сконденсировавшись, поступает в систему реинжекции. Неконденсирующиеся газы из конденсаторов удаляют с использованием двухступенчатых паровых эжекторов. Их подают в абсорбер, где растворяют в конденсате, который закачивают в скважины закачки. Это позволяет исключить его контакт с внешней средой, т. е. реализовать экологически чистую технологию производства электроэнергии.



Рис. 1. Верхне-Мутновская ГеоЭС мощностью 12,0 МВт

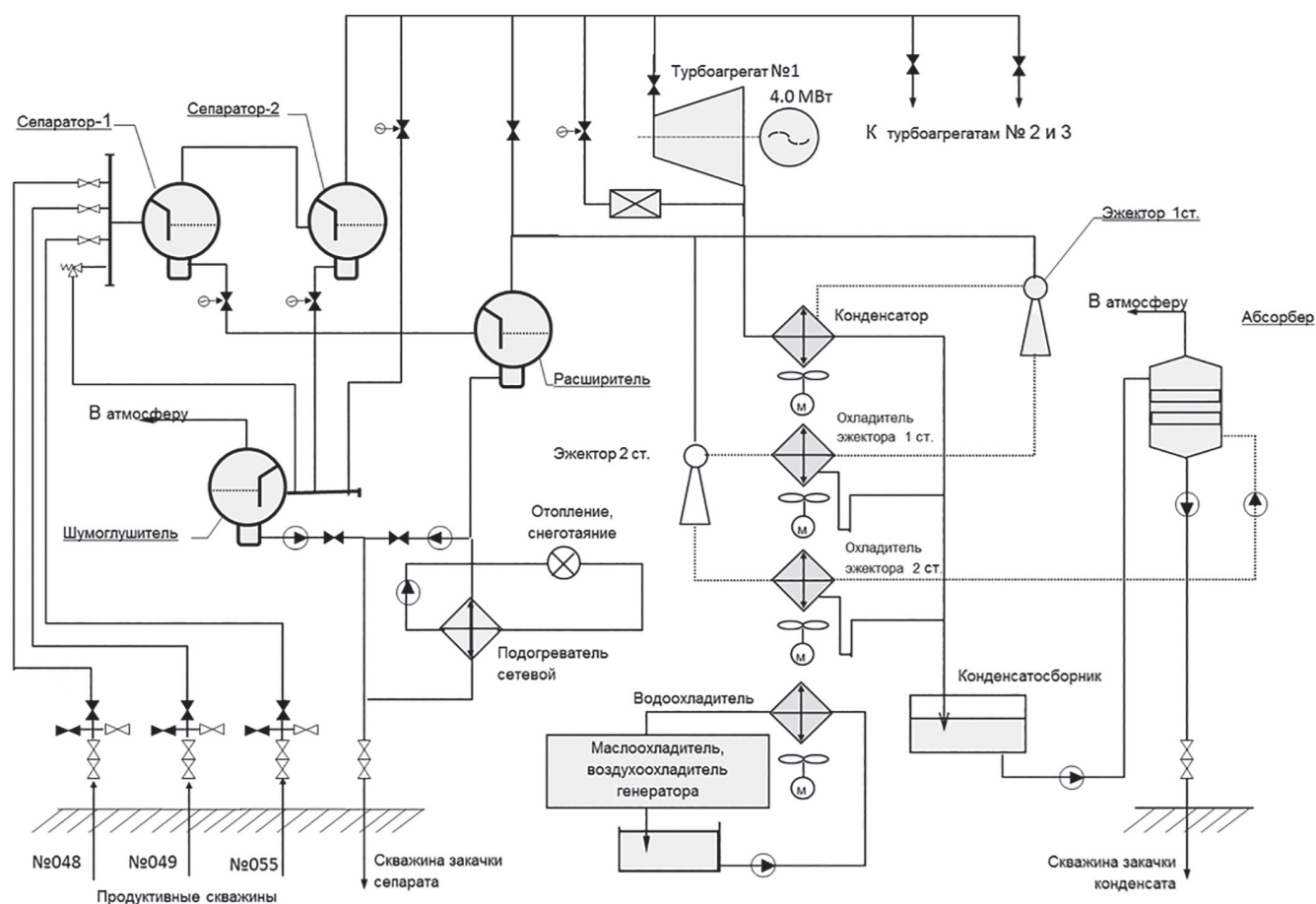


Рис. 2. Принципиальная тепловая схема Верхне-Мутновской ГеоЭС

Использование тепла сепарата в эжекторах для удаления из конденсатора неконденсирующихся газов позволяет повысить эффективность энергоблока. Особенно важно удалять из рабочего контура сероводород, коррозионная активность которого повреждает тепло-механическое и электротехническое оборудование, а также приборы КИП и автоматику.

Концепция создания Верхне-Мутновской ГеоЭС разработана с учетом энергопотенциала и химического состава геотермального теплоносителя, а также суровых климатических условий и короткого летнего строительного сезона (4 месяца в году), труднодоступности района строительства, отсутствия инфраструктуры:

- блок-модули (турбогенератор, электротехническое оборудование, воздушно-конденсационная установка, основные панели управления и т. п.) поставлены при 100%-й сборке и заводских испытаниях.
- блочно-модульная система подготовки пара доставлена на строительную площадку в полной заводской готовности.

Блочно-модульная конструкция оборудования обеспечила быстрый ввод ГеоЭС в эксплуатацию, в том числе за счет сокращения объема строительно-монтажных работ на площадке.

Основное оборудование для станции изготовлено ОАО «Калужский турбинный завод» (ОАО «КТЗ»),

ОАО «Подольский машиностроительный завод» и другими отечественными предприятиями [3, 4].

Важным элементом конструкции, от которого в значительной степени зависит надежность и долговечность эксплуатации, стала установка подготовки пара, разработанная ЗАО «Наука» совместно со специалистами НУЦ Гео МЭИ, ЭНИН им. Кржижановского, ВНИИАМ и изготовленная на ОАО «Подольский машиностроительный завод» в виде четырех транспортных технологических модулей полной заводской готовности.

Так, в технологический модуль № 1 установки подготовки пара перед турбиной входят два сепаратора первой ступени и расширитель, предназначенный для получения дополнительного вторичного пара при вскипании сепарата от сепараторов первой ступени.

Два сепаратора второй ступени и атмосферный шумоглушитель размещены в технологическом модуле № 2.

Технологический модуль № 3 включает запорную, регулируемую и предохранительную арматуры, а также технологические трубопроводы.

В технологическом модуле № 4 установлены насосы системы закачки отработавшего теплоносителя, пожарные и вспомогательные насосы, электрощиты

управления, а также оборудование системы защиты рабочего контура ГеоЭС от коррозии и солеотложений. Технологические модули установки подготовки пара были доставлены на Камчатку самолетом АН-124 Руслан (рис. 3).

Турбоустановки «Туман-4К» разработаны и изготовлены на ОАО «КТЗ». Каждый турбогенератор смонтирован в отдельном модуле вагонного типа. Пар на турбину подается через стопорный клапан и регулируемую заслонку. Специальный клапан травления пара в конденсатор в обход турбины срабатывает при резких сбросах нагрузки. Масса турбогенераторного модуля — 56 т, размеры — 10,5×3,2×2,4 м. Он транспортабелен по железной дороге, морю и, при необходимости, на самолете АН-124.

Турбины Верхне-Мутновской ГеоЭС обладают рядом особенностей. Во-первых, регулирование расхода пара на турбину реализуется посредством поворотного отсечного клапана типа «баттерфляй», а выхлоп пара из турбины идет вертикально вверх. Во-вторых, все 12 турбинных ступеней имеют наружный бандаж (рис. 4) и развитую систему внутриканальной сепарации влаги.

Запуск турбины может осуществляться автономно, без внешнего источника электроэнергии, с помощью масляного турбонасоса, работающего на геотермальном паре. Электрический генератор для турбоустановки изготовлен на ОАО «Привод» (г. Лысьва). Воздухоохладитель электрогенератора расположен сверху на генераторе.

На ГеоЭС использованы конденсаторы поверхностного типа с воздушным охлаждением. С целью обеспечения барометрического слива конденсата в бак-конденсатосборник секции конденсатора расположены на площадке с высотной отметкой +6,0 м относительно турбины. Конденсаторы имеют шатровую конструкцию (рис. 5.), спроектированы и изготовлены ОАО «КТЗ» [4].

Из выхлопных патрубков турбины пар направляется в верхние паровые коллекторы диаметром 1,2 м. При этом расход пара — 30 т/ч на каждые 4 секции. В паровой коллектор введены линзовые компенсаторы, воспринимающие тепловые расширения трубопроводов. В верхней части ВКУ установлены поворотные щиты, обеспечивающие защиту от снега, а при низких температурах — рециркуляцию теплого воздуха на вход вентиляторов.

Применение системы закачки отработавшего геотермального теплоносителя в пласт и использование воздухоохлаждаемых конденсаторов поверхностного типа позволило создать экологически чистую геотермальную электростанцию.

Мутновская геотермальная электростанция

Мутновская ГеоЭС мощностью 50 (2×25) МВт (Камчатка), успешно работающая с 2002 г., отличается со-



Рис. 3. Погрузка модуля установки подготовки пара Верхне-Мутновской ГеоЭС



Рис. 4. Ротор турбины «Туман-4К» Верхне-Мутновской ГеоЭС



Рис. 5. Воздушно-конденсационная установка Верхне-Мутновской ГеоЭС

временными технико-технологическими решениями, включает в себя высокоэффективные горизонтальные сепараторы первой и второй ступени, функционирующие на основе гравитационного принципа отделения влаги (производство ОАО «ЗиО», г. Подольск), и высокоэкономичные двухпоточные паровые турбины, разработанные и изготовленные на ОАО «КТЗ», а также

распределенную АСУ ТП на базе оборудования фирмы Сименс [5 — 10].

Первичные сепараторы Мутновской ГеоЭС, шумоглушители, насосы реинжекции, система регулирования давления в паровой системе и другое вспомогательное оборудование размещены в отдельном здании, связанном переходом с главным корпусом ГеоЭС, что гарантирует их нормальное обслуживание в суровых климатических условиях.

В главном корпусе (рис. 6) установлены сепараторы второй ступени, турбогенераторы, конденсаторы насосное и другое технологическое оборудование, включая электротехническое оборудование и АСУ ТП.

Проточная часть двухпоточных паровых турбин имеет развитую систему внутриканальной сепарации со специальной турбинной ступенью-сепаратором [8]. Для продления срока службы геотермального резервуара и обеспечения экологически чистого производства электроэнергии предусмотрены системы защиты от коррозии и отложений и закачки обработавшего геотермального теплоносителя в реинжекционные скважины. Это первый отечественный турбоагрегат для ГеоЭС, выполненный в двухпоточном варианте (рис. 7) с высотой рабочей лопатки последней ступени 450 мм.

Мутновская ГеоЭС состоит из двух энергоблоков по 25 Мвт (рис. 8). Геотермальный теплоноситель с весовым содержанием пара от 30 до 100% через магистральные трубопроводы от 8-и продуктивных скважин направляется в два первичных сепаратора первой ступени в здание сепараторной. Уровень сепарата в сепараторах регулируется насосами реинжекции сепарата.

После сепараторов первой ступени пар с сухостью $x > 0,9998$ поступает в коллектор, из которого двумя трубопроводами подается к турбогенераторам в главном корпусе ГеоЭС. Давление пара в коллекторе составляет 0,65 МПа и регулируется сбросными клапанами с быстросрабатывающим электроприводом. Система регулирования давления позволяет поддерживать постоянное давление в коллекторе даже при полном внезапном отключении одного или двух турбоагрегатов.

Для повышения чистоты пара на турбину применяют специальную систему его промывки и вторичную сепарацию в сепараторах второй ступени в главном корпусе ГеоЭС. С этой целью используют чистый конденсат, образовавшийся в проточной части турбины.

В технологической схеме Мутновской ГеоЭС отсепарированная вода с температурой около 160 °С служит для нагрева сетевой воды в системе теплоснабжения станции, а затем при температуре 145 °С ее закачивают в реинжекционные скважины.

К паровым турбинам пар подается от каждого из сепараторов второй ступени, а после турбин пар направляется в смешивающие конденсаторы, где конденсируется на струях холодной воды из градирен. Циркуляционными насосами конденсат подается в градирни для охлаждения. При этом часть конденсата закачивается в геотермальный резервуар. Паровой эжектор и водокольцевой насос удаляют неконденсирующиеся газы из конденсатора.



Рис. 6. Турбогенераторы № 1 и 2 мощностью по 25 МВт каждый в машинном зале главного корпуса Мутновской ГеоЭС



Рис. 7. Двухпоточная паровая турбина мощностью 25 МВт для Мутновской ГеоЭС

В рамках научно-технического сотрудничества кафедры паровых и газовых турбин НИУ «МЭИ» с АО «УТЗ» разработаны и изготовлены турбины Мутновской ГеоЭС, отличающиеся высокой экономичностью проточной части при работе на влажном паре. В проточной части турбины в каждом потоке 8 ступеней, первые четыре выполнены с надбандажным лабиринтовым уплотнением.

Основные технические характеристики турбины мощностью 25 МВт для Мутновской ГеоЭС

Тип турбины	К-25-06-Гео
Номинальная электрическая мощность на клеммах генератора, МВт	25,0
Номинальные расчетные параметры пара:	
давление перед турбиной, МПа	0,62
степень сухости перед турбиной	0,9998
содержание неконденсирующихся газов (по массе), %	0,4
давление в конденсаторе, кПа	5,0
Расход пара на турбоустановку при номинальных параметрах, кг/с	44,5

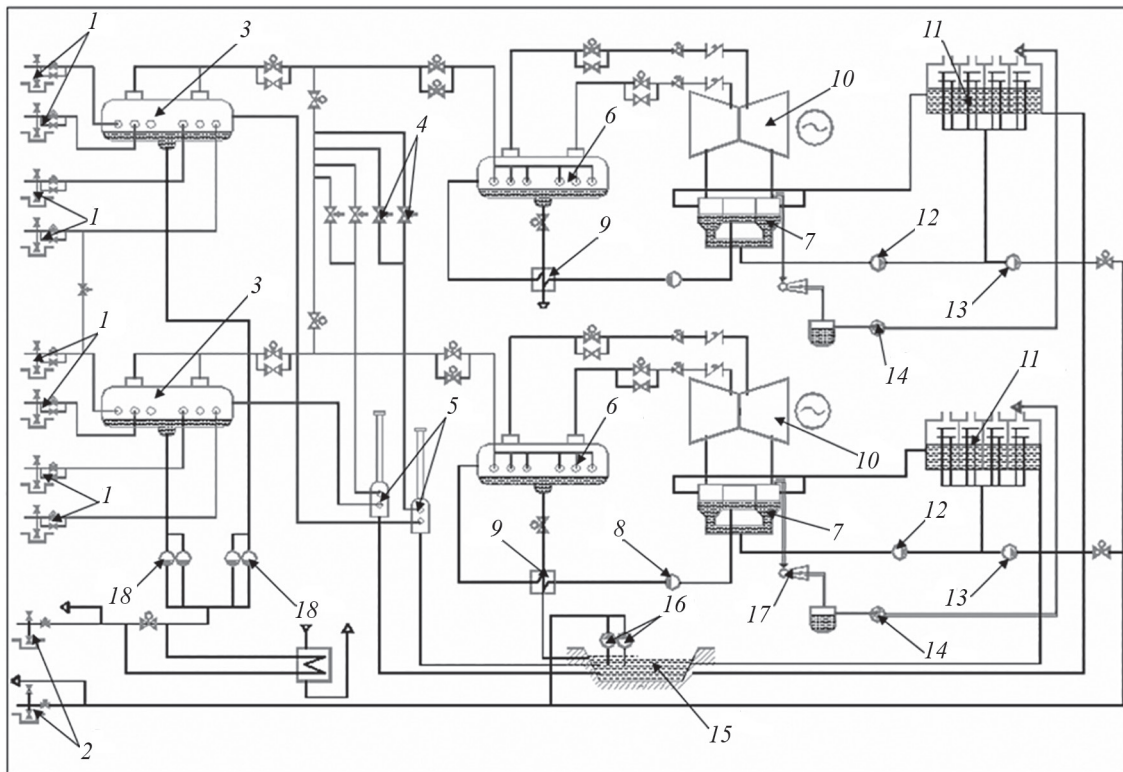


Рис. 8. Тепловая схема Мутновской ГеоЭС мощностью 50 (2×25) МВт:

1, 2 — продуктивные и реинжекционные скважины; 3 — сепараторы 1-й ступени; 4 — сбросные клапаны; 5 — шумоглушители; 6 — сепараторы 2-й ступени с промывкой пара; 7 — конденсаторы турбоустановок; 8, 9 — насос и подогреватели промывочной воды; 10 — турбины; 11 — вентиляторные градирни; 12 — циркуляционные насосы; 13 — насосы реинжекции конденсата; 14 — водокольцевые насосы для удаления НКГ; 15 — резервуар аварийного сброса сепарата; 16 — насосы опорожнения аварийного резервуара; 17 — пароструйные эжекторы для удаления НКГ; 18 — насосы реинжекции сепарата

Продольный разрез турбины изображен на рис. 9. В ней находятся специальные устройства для удаления влаги, позволяющие удалить до 80% жидкой фазы из проточной части. Начиная с 4-й турбинной ступени, использована развитая система периферийной сепарации влаги. В 7-й и 8-й турбинных ступенях есть система внутриканальной сепарации влаги в сопловых решетках. Применение в качестве 5-й ступени специальной ступени-сепаратора позволило увеличить КПД всей турбины почти на 2%. В выходном патрубке за последней ступенью установлен осекольцевой диффузор с косым срезом, что позволяет снизить потери на выходе из турбины.

Диафрагмы всех ступеней выполнены сварными, с горизонтальным разъемом. Концевые и диафрагменные уплотнения — лабиринтного типа. Ротор турбины — цельнокованый, имеет диски с разгрузочными отверстиями.

На Мутновской ГеоЭС применяют конденсаторы смешивающего типа, в которых конденсация пара происходит на струях охлаждающей воды, причем в процессе конденсации идет смешение охлаждаемой и охлаждающей сред. Конденсатор смешивающего типа состоит из трех секций и располагается под выхлопной частью турбины. По сравнению с конденсаторами по-

верхностного типа смешительные более эффективны и требуют меньше охлаждающей воды. Неконденсирующиеся газы удаляются из конденсатора пароструйными эжекторами и водокольцевыми вакуум-насосами.

На ГеоЭС для охлаждения воды использована 4-х секционная вентиляторная испарительная градирня американской фирмы PSI. Все несущие и ограждающие конструкции градирни изготовлены из стеклопластика, что обеспечивает ее надежную работу в условиях агрессивной среды. Из стеклопластика выполнены также и все трубопроводы охлаждающей воды, а бассейн градирни изготовлен из специального кислотостойкого бетона с защитным эпоксидным покрытием. Конденсат на ГеоЭС закачивают в отдельную скважину реинжекции по трубопроводу, выполненному из коррозионностойких базальто-пластиковых труб.

Перспективы развития отечественной геотермальной энергетики

Наиболее значительные высокопотенциальные геотермальные ресурсы расположены в Дальневосточном и Северо-Кавказском регионах. Прогнозные запасы геотермального тепла Камчатки достаточны для производства электроэнергии на ГеоЭС общей мощностью 3900 МВт.

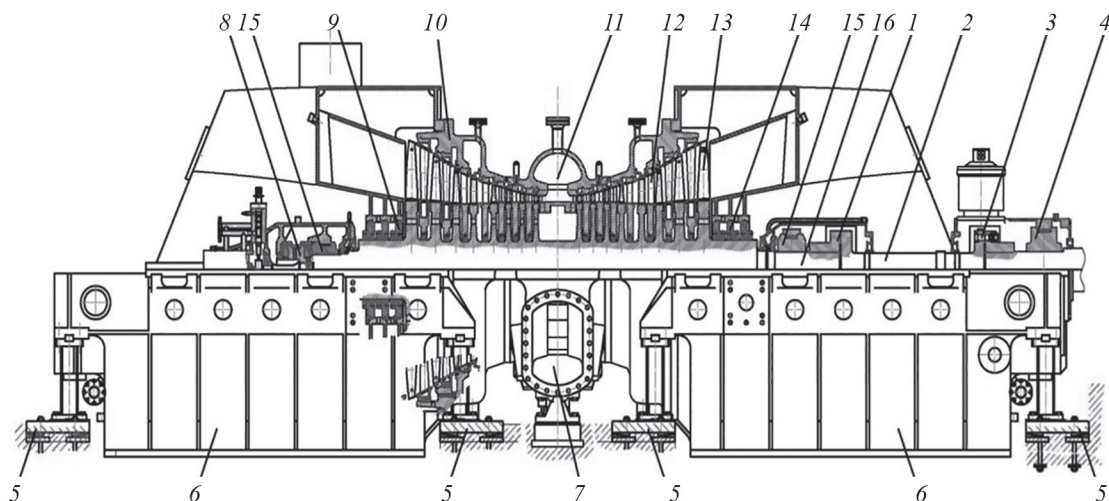


Рис. 9. Продольный разрез паровой турбины мощностью 25 МВт Мутновской ГеоЭС:

1 — полумуфта с шестерней валоповоротного устройства; 2 — проставок; 3 — муфта, соединяющая проставок с ротором генератора; 4 — опорный подшипник генератора; 5 — опоры турбины на фундаментные рамы; 6 — выходные патрубки; 7 — паровпуск; 8, 15 — упорный и опорный подшипники; 9 — переднее концевое уплотнение; 10 — корпус цилиндра; 11 — сопловая коробка; 12 — сопловой аппарат диафрагмы; 13 — рабочая лопатка последней ступени; 14 — заднее концевое уплотнение; 16 — ротор турбины

Основными направлениями развития геотермальной энергетики в России являются:

- повышение эффективности и мощности действующих ГеоЭС прямого цикла путем их расширения бинарными энергоблоками, использующими сбросной геотермальный теплоноситель;
- строительство новых ГеоЭС на Качатке, Курильских островах, Северном Кавказе и других регионах страны, в том числе на основе применения бинарных энерготехнологий с низкотемпературным геотермальным теплоносителем.

Перспективные направления развития электроэнергетики Камчатского края — расширение Мутновской ГеоТЭС путем установки двух энергоблоков прямого цикла мощностью по 4,0 МВт (I очередь) и двух бинарных энергоблоков мощностью по 2,5 МВт (II очередь) за счет использования тепла сбросного сепарата,

а также сооружение Мутновской ГеоТЭС-2 (50 МВт) с двумя энергоблоками прямого цикла мощностью по 25,0 МВт каждый.

Заключение

Многолетний опыт успешной эксплуатации Мутновской ГеоЭС подтвердил правильность принятых проектных решений. В настоящее время она является самой экономичной электростанцией Камчатки. Средний тариф на электроэнергию ПАО «Камчатскэнерго» в 2018 г. составил 7,4 руб/(кВт·ч), тариф АО «Геотерм» на Мутновской ГеоТЭС — 3,4 руб/(кВт·ч).

В России освоено производство энергетического оборудования для геотермальных электростанций. В настоящее время имеются все необходимые предпосылки для успешного освоения геотермальных месторождений с целью производства электроэнергии.

Литература

1. Поваров О.А., Томаров Г.В. Развитие геотермальной энергетики в России и за рубежом // Теплоэнергетика. 2006. № 3. С. 2—10.
2. Бритвин О.В. и др. Верхне-Мутновская геотермальная электрическая станция // Теплоэнергетика. 1999. № 2. С. 2—9.
3. Поваров О.А., Лукашенко Ю.Л. Турбины и сепараторы для геотермальных электростанций // Теплоэнергетика. 1997. № 1. С. 41—47.
4. Мильман О.О., Федоров В.А. Воздушно-конденсационные установки. М.: Изд-во МЭИ, 2002.
5. Поваров О.А., Лукашенко Ю.Л., Томаров Г.В., Циммерман С.Д. Геотермальные промышленность

References

1. Povarov O.A., Tomarov G.V. Razvitie Geotermal'noy Energetiki v Rossii i za Rubezhom. Teploenergetika. 2006;3:2—10. (in Russian).
2. Britvin O.V. i dr. Verkhne-Mutnovskaya Geotermal'naya Elektricheskaya Stantsiya. Teploenergetika. 1999; 2:2—9. (in Russian).
3. Povarov O.A., Lukashenko Yu.L. Turbiny i Separator dlya Geotermal'nykh Elektrostantsiy. Teploenergetika. 1997;1:41—47. (in Russian).
4. Mil'man O.O., Fedorov V.A. Vozdushno-kondensatsionnye Ustanovki. M.: Izd-vo MEI, 2002. (in Russian).
5. Povarov O.A., Lukashenko Yu.L., Tomarov G.V., Tsimmerman S.D. Geotermal'nye Promyshlennost' i

и технологии в России // Тяжелое машиностроение. 2001. № 1. С. 14—19.

6. **Povarov O.A., Nikolskiy A.I.** Experience of Creation and Operation of Geothermal Power Plants in Cold Climate Conditions // Proc. World Geothermal Congress. Antalia, 2005. Pp. 1—9.

7. **Идзон О.М., Иванов В.В., Илюшин В.В. Никольский А.И.** АСУ ТП Мутновской геотермальной электростанции // Электрические станции. 2004. № 1. С. 41—49.

8. **Лукашенко Ю.Л., Поваров О.А., Никольский А.И., Циммерман С.Д., Толкачев В.М.** Паровые турбины ОАО «КТЗ» для ГеоЭС // Тяжелое машиностроение. 2002. № 8. С. 46—51.

9. **Povarov O., Saakyan V., Nikolskiy A., Luzin V., Tomarov G.** Experience of Creation and Operation of Geothermal Power Plants at Mutnovsky Geothermal Field, Kamchatka, Russia // Intern. Geothermal Conf. Reykjavik, 2003.

10. **Алхасов А.Б.** Использование геотермальной энергии для выработки электроэнергии // Известия РАН. Серия «Энергетика». 2010. № 1. С. 59—72.

Tekhnologii v Rossii. Tyazheloe Mashinostroenie. 2001;1:14—19. (in Russian).

6. **Povarov O.A., Nikolskiy A.I.** Experience of Creation and Operation of Geothermal Power Plants in Cold Climate Conditions. Proc. World Geothermal Congress. Antalia, 2005:1—9.

7. **Idzon O.M., Ivanov V.V., Ilyushin V.V. Nikol'skiy A.I.** ASU TP Mutnovskoy Geotermal'noy Elektrostantsii. Elektricheskie Stantsii. 2004;1:41—49. (in Russian).

8. **Lukashenko Yu.L., Povarov O.A., Nikol'skiy A.I., Tsimmerman S.D., Tolkachev V.M.** Parovye turbiny OAO «KTZ» dlya GeoES. Tyazheloe Mashinostroenie. 2002;8:46—51. (in Russian).

9. **Povarov O., Saakyan V., Nikolskiy A., Luzin V., Tomarov G.** Experience of Creation and Operation of Geothermal Power Plants at Mutnovsky Geothermal Field, Kamchatka, Russia. Intern. Geothermal Conf. Reykjavik, 2003.

10. **Alkhasov A.B.** Ispol'zovanie Geotermal'noy Energii dlya Vyrabotki Elektroenergii. Izvestiya RAN. Seriya «Energetika». 2010;1:59—72. (in Russian).

Сведения об авторе:

Томаров Григорий Валентинович — доктор технических наук, генеральный директор ООО «Геотерм-М», e-mail: geotherm@gmail.com

Information about author:

Tomarov Grigoriy V. — Dr.Sci. (Techn.), General Director of LLC «Geotherm-M», e-mail: geotherm@gmail.com

Статья поступила в редакцию: 01.02.2022

The article received to the editor: 01.02.2022